

## Palhetada alternada no violão: elementos para a compreensão de sua dinâmica

MODALIDADE: COMUNICAÇÃO

SUBÁREA: Composição e Sonologia

*Augusto Armondes*  
*Universidade Federal de Minas Gerais*  
*augusto\_armondes@hotmail.com*

*Sérgio Freire*  
*Universidade Federal de Minas Gerais*  
*sfreire@musica.ufmg.br*

**Resumo.** O trabalho apresenta um estudo multimodal prospectivo da técnica violonística/guitarrística de palhetada alternada. Com análise de dados extraídos do sinal de áudio, de sensores de movimento e de força conseguimos identificar características quanto à regularidade rítmica, gestos, posição da mão e força na palheta. Coletamos os dados de três escalas que utilizam quatro, três e duas notas por corda, em 60 e 100 bpm, nos sentidos ascendente e descendente, tocadas por um músico experiente. Por meio dessa pequena amostragem podemos apontar que, para esse músico, a técnica é diferente nos conjuntos de cordas graves e agudas, a posição de sua mão direita em relação às cordas muda no decorrer das escalas e são usadas estratégias diferentes para os dois sentidos. Buscamos assim colaborar com a bibliografia da técnica de palhetada alternada, ainda escassa de pesquisas quantitativas, e seus modos de ensino e estudo.

**Palavras-chave.** Palhetada alternada, Multimodalidade, Sensor de movimento, Sensor de força, Performance musical

**Title.** Alternate Picking on the Acoustic Guitar: Elements for Understanding Its Dynamics

**Abstract.** The paper presents a prospective multimodal study on the guitar technique alternate picking. Using data analysis from the audio signal, motion, and force sensors we are able to recognize particulars regarding rhythmic regularity, gestures, hand position and force on the pick. We collect data from three scales with four, three and two notes per string, at 60 and 100 bpm, played by an experienced musician in the ascending and descending directions. Through this small sample, we can point out that, for this musician, (a) the technique is applied differently for sets of low and high strings; (b) the right-hand position in relation to the strings changes over the course of the scales; and (c) different strategies are used for both directions. Thus, we hope to collaborate to alternate picking technique bibliography, still small in quantitative research, and its teaching and study methods.

**Keywords.** Alternate Picking, Multimodality, Motion Sensor, Force Sensor, Musical Performance

## Introdução

Este trabalho sobre a técnica de palhetada alternada é um recorte de uma pesquisa em nível de doutorado que investiga as várias técnicas de palheta utilizadas tanto em violão quanto em guitarra. Em estudos anteriores, baseados em dados do sinal de áudio e gestos da mão, não havíamos focado na palheta. Para esse artigo acrescentamos um sensor de força (FSR) que, colocado entre a palheta e o dedo polegar do performer, poderá indicar aspectos importantes na aplicação das técnicas.

Utilizamos um sistema portátil, capaz de captar aspectos sonoros (ataques e amplitudes) e dinâmicos dos gestos (pressão, velocidade angular e aceleração linear) envolvidos na aplicação da técnica. A portabilidade facilita bastante a captação dos dados, com o *setup* necessitando, além de um microcomputador, de uma interface de áudio com 6 entradas, um micro-computador Raspberry Pi, o sensor de movimento e sensor de pressão ligado a um Arduino.

Neste artigo discutimos inicialmente a técnica de palhetada alternada, com conceitos, modos de ensino, estudo e aplicação. Em seguida apresentamos o *setup* utilizado: Max, Python, C++ e Matlab, linguagens de programação utilizadas para registro, extração, organização, cálculos e visualização dos dados; o sistema GuiART, para extração das informações do sinal de áudio; o IMU usado para captar informações sobre o gesto da mão que segura a palheta; o resistor (FSR) para a força aplicada na palheta na execução dos trechos. Descrevemos então o experimento realizado, um piloto exploratório inicial, com a aplicação da técnica em situações distintas, com os procedimentos para a coleta e os tipos de dados extraídos. Finalmente, analisamos as informações e discutimos os resultados obtidos em relação a diferentes aspectos da palhetada, encerrando com as conclusões deste estudo e os próximos passos da pesquisa.

## Técnica de palhetada alternada

Segundo um dicionário de referência da língua portuguesa no Brasil (HOUAISS; VILLAR, 2009) a palavra técnica significa: um conjunto de procedimentos ligados a uma arte ou ciência; a parte material dessa arte ou ciência; jeito, perícia em qualquer ação ou movimento. No âmbito musical, tratando especificamente do violão, Queiroz (2010) define que a técnica é uma ação prática, que possibilita a obtenção no instrumento das sonoridades e dos demais recursos necessários para a interpretação de uma obra musical, enquanto que para Carlevaro (1974), de maneira mais positivista, é a obtenção, com o mínimo esforço, do resultado máximo.

Nessa mesma linha positivista Pujol (1956) coloca que a técnica não deve constituir um fim, mas um meio necessário para alcançar a perfeição da arte.

As definições aqui apresentadas, de diferentes épocas, conseguem comunicar algo que compreendemos razoavelmente bem. Quando se diz que um músico é técnico entende-se que ele possui a capacitação necessária para executar com perfeição trechos ou músicas complexas, com alto grau de dificuldade. Podemos destacar entre essas habilidades os gestos das mãos, que dependem de uma grande sincronicidade, o ângulo em relação às cordas e a força aplicada na palheta, o giro do pulso e do antebraço na mão que segura a palheta, etc.

Esse conjunto de habilidades não é sistematicamente tratado pelos métodos de ensino das técnicas pelo simples fato de serem idiossincráticos. Cada performer desenvolve seu modo de segurar a palheta, de movimentar a mão, o pulso, etc.

Dentre as técnicas de palheta para violão/guitarra escolhemos para o estudo a palhetada alternada (*alternate picking*, em inglês), que consiste em gestos alternados descendentes e ascendentes da palheta. É uma técnica bastante utilizada, principalmente em passagens muito rápidas, causando fascínio quando bem executada. Daí o interesse por violonistas e guitarristas no seu aperfeiçoamento.

Os métodos de ensino baseiam-se no modelo de repetição de exercícios (RIBEIRO, 2011; GOODRICK, 1987), guiados por metrônomo e no aumento gradativo do andamento de acordo com o desenvolvimento da técnica, tornando-se um processo muito pessoal de cada músico. Com os dados deste estudo buscaremos contribuir para o modo como a técnica é ensinada e praticada.

A técnica de palhetada alternada pode ser utilizada em praticamente todas as situações de solo, mas principalmente em passagens rápidas. Mesmo em contextos em que outras técnicas podem ser a melhor opção, é possível que por motivos timbrísticos ou por facilidade o performer opte pela alternada.

## Setup Experimental

Descrevemos aqui as ferramentas, muitas delas por nós desenvolvidas, que permitiram coletar e analisar os dados necessários para essa pesquisa. Por serem recursos complexos, focaremos nas informações pertinentes ao trabalho, com as referências trazendo as informações completas.

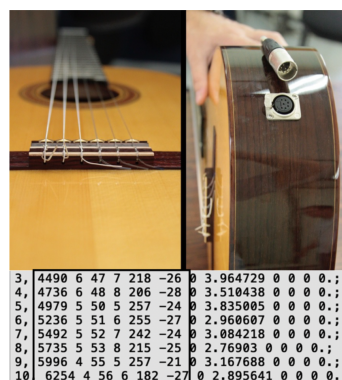
Com dados obtidos de fontes distintas, que possuem seus ambientes próprios de desenvolvimento, foi necessário o uso de diferentes linguagens de programação. Para extração das informações obtidas pelo sinal de áudio utilizamos a linguagem Max<sup>1</sup>. A programação para envio dos dados do sensor de movimento está escrita em Python e para o sensor de força em C++. Max também é usada para a captação (e registro) sincrônica dos dados de diferentes fontes, e para o processamento de dados dos sensores de movimento e força. Já para a organização, cálculos e visualização dos registros utilizamos o Matlab, da empresa MathWorks. A maioria dessas visualizações também se dá em tempo real no Max, transformando-se neste caso em uma ferramenta bastante útil para estudo.

### Extração de descritores de áudio

O GuiaRT é uma interface acústico-digital criada a partir de um violão de nylon com captação hexafônica, com a qual conseguimos extrair diversos descritores de áudio utilizados para análise de performance, composição interativa e como ferramenta pedagógica<sup>2</sup>.

No âmbito desta pesquisa, utilizaremos o *onset* (momento de ataque), a duração, a corda utilizada, a frequência fundamental (transformada em *note number* do protocolo MIDI) e a amplitude de cada nota. Um pedal controla a análise e registro do sinal de áudio. Como resultado temos uma lista com os atributos extraídos do trecho executado. A Figura 1 mostra o violão de nylon com a captação hexafônica e um exemplo de *output* do GuiaRT.

Figura 1 – Violão de nylon com captação hexafônica e lista de *output* do sistema GuiaRT., com destaque para (na ordem): *onset* (ms), corda, nota midi, casa do violão, duração (ms) e amplitude (dBFS)



Fonte: Autoria própria

<sup>1</sup> <https://cycling74.com/products/max>, acessado em 28/07/23

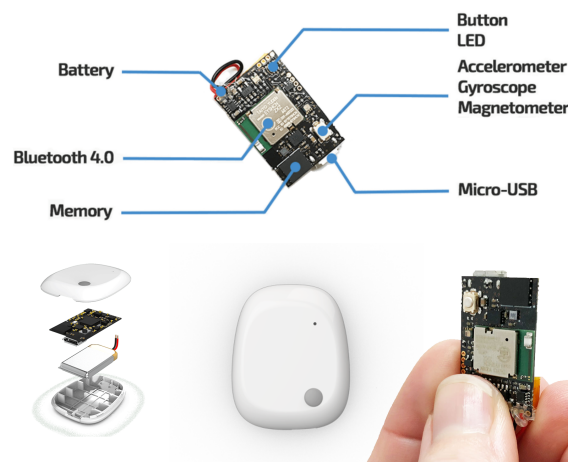
<sup>2</sup> Este sistema está descrito em detalhes em um artigo publicado recentemente. (FREIRE, Sergio; ARMONDES, Augusto; SILVA, Rubens, 2023)

### Captação de dados de translação e rotação da mão

Os IMU's (*Inertial Measurement Units*) são dispositivos eletrônicos que medem e relatam a força específica aplicada a um corpo com base nas leis de Newton, além da taxa angular e orientação utilizando uma combinação de acelerômetro, giroscópio e magnetômetro. Esses sensores se tornaram cada vez mais compactos e acessíveis, contribuindo para as pesquisas que envolvem gestos nas mais diferentes áreas.

Dentre os dispositivos disponíveis no mercado utilizamos o MetaMotionR (Figura 2), da empresa MBientLab<sup>3</sup>, um sensor compacto a bateria com conexão via protocolo *Bluetooth Low Energy*. Já avaliamos a acurácia deste sensor (FREIRE *et al*, 2020), e discutimos implementações em diferentes linguagens e sistemas operacionais (ARMONDES *et al*, 2022).

Figura 2 – MetaMotionR, da empresa MbientLab. Nova geração de IMU's compactos com transmissão de dados via *Bluetooth LE*



Fonte: Site MBientLab - <https://mbientlab.com/metamotionr/>

Um fator importante para pesquisas que sincronizam dados de diversas fontes é a consistência do *sample rate*. Na busca por melhorar essa condição fundamental para a boa interpretação dos dados implementamos a programação do sensor no micro-computador Raspberry Pi 4<sup>4</sup> em linguagem Python utilizando o API<sup>5</sup> disponibilizado pela própria

<sup>3</sup> <https://mbientlab.com/metamotionr/>, acessado em 29/07/23

<sup>4</sup> <https://www.raspberrypi.com>, acessado em 29/07/23

<sup>5</sup> <https://mbientlab.com/pythondocs/latest/>, acessado em 29/07/23

MBientLab. Transferindo os dados em OSC via UDP por um cabo de rede, conseguimos receber os dados do sensor em tempo real dentro no Max, com um *sample rate* mais estável em 100 Hz e latência em torno de 20ms.

### Captação de dados de força na palheta

O FSR (*Force-Sensor Resistor* ou *Force-Sensitive Resistor*) é um polímero condutor cuja resistência elétrica varia de forma previsível de acordo com a força ou pressão aplicada em sua superfície (Figura 3), sendo utilizados em diversas aplicações, como instrumentos musicais, membros artificiais e eletrônicos portáteis.

Figura 3 – Exemplos de FSR, com diversos tamanhos e formas

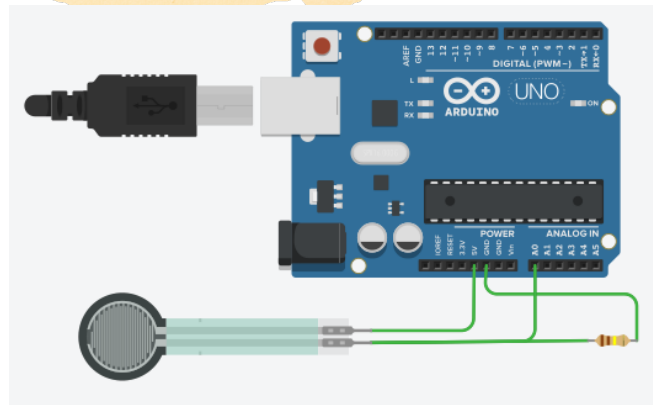


Fonte: Site FSRTEK - <https://www.fsrtek.com>

O modo de operação consiste na diminuição da resistência com o aumento da força aplicada, atuando como uma resistência infinita quando não há força. Desse modo, podemos medir a variação de tensão ou corrente no sensor ou em outro componente, dependendo do circuito utilizado. Neste trabalho medimos a variação de tensão em uma entrada analógica de um Arduino Uno<sup>6</sup>, conforme mostra o circuito da Figura 4.

<sup>6</sup> <https://www.arduino.cc>, acessado em 29/07/23

**Figura 4 – Circuito eletrônico utilizado para medir a variação de força no FSR**



Fonte: Autoria própria utilizando o site Tinkercad - <https://www.tinkercad.com>

Recebemos a informação de variação de tensão no Max via comunicação serial do Arduino, após uma transformação de 5v para 10 bits, com um valor final que varia entre 0 (0v) e 1023 (5v). Esse valor, inicialmente, é adimensional, pois ainda não foi feita sua relação com medições de força real. Os testes iniciais identificaram uma latência de 20 ms em uma taxa de transmissão serial de 57,6 Kbits/segundo.

### **Cálculo de amplitude e direção dos picos de aceleração e velocidade angular**

Na extração de picos das curvas de aceleração e velocidade angular, seguimos os seguintes passos: (1) conversão dos dados dos eixos cartesianos x, y e z em coordenadas polares; módulo de amplitude, ângulos de azimute e elevação; (2) detecção de picos na curva dos módulos, através da derivada (os picos ocorrem nos momentos onde a derivada troca de sinal positivo para negativo); (3) no momento do pico é calculada a direção instantânea da velocidade angular e da aceleração; esta direção é categorizada em 10 tipos diferentes, como será detalhado mais abaixo; (4) o valor do pico é comparado com um limiar; caso seja maior do que ele, armazena-se os dados referentes a cada pico, contendo o momento de sua ocorrência (medido a partir do início do trecho), sua amplitude e sua direção espacial. Define-se ainda um intervalo de espera até que um novo pico possa ser detectado.

A categorização das direções parte do seguinte princípio: em uma esfera definimos para cada eixo principal duas zonas (uma positiva, outra negativa) limitada por ângulos de azimute e elevação de +/- 30 graus (ver Figura 5). Quando os ângulos dos picos detectados estão dentro dessas zonas, são caracterizados como gestos realizados preferencialmente nessas

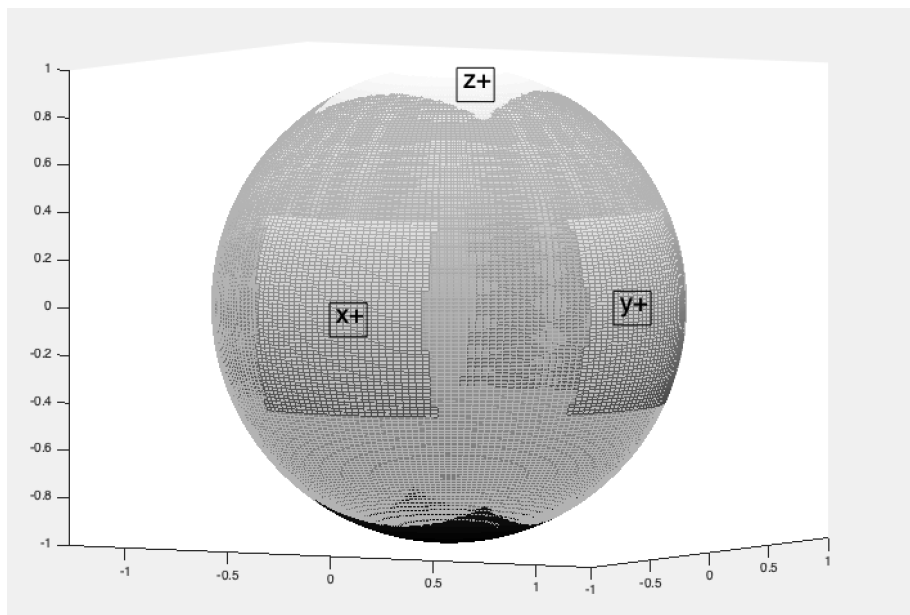
direções:  $x^+$ ,  $x^-$ ,  $y^+$ ,  $y^-$ ,  $z^+$  e  $z^-$ . Além dessas 6 regiões, temos ainda mais 20: 4 entre as regiões  $x$  e  $y$ , 4 entre  $x$  e  $z$ , 4 entre  $y$  e  $z$ , além de 8 que estão fora dos  $\pm 30$  graus de qualquer um dos eixos (ver Tabela 1 (e Figura 5)). As categorias estão organizadas de forma diametralmente opostas: 1 se opõe 2, 3 a 4, e 5 a 6; 7.1 a 7.2, 7.3 a 7.4 e assim por diante...

**Tabela 1 – Relação entre a direção nos eixos e o número da categoria**

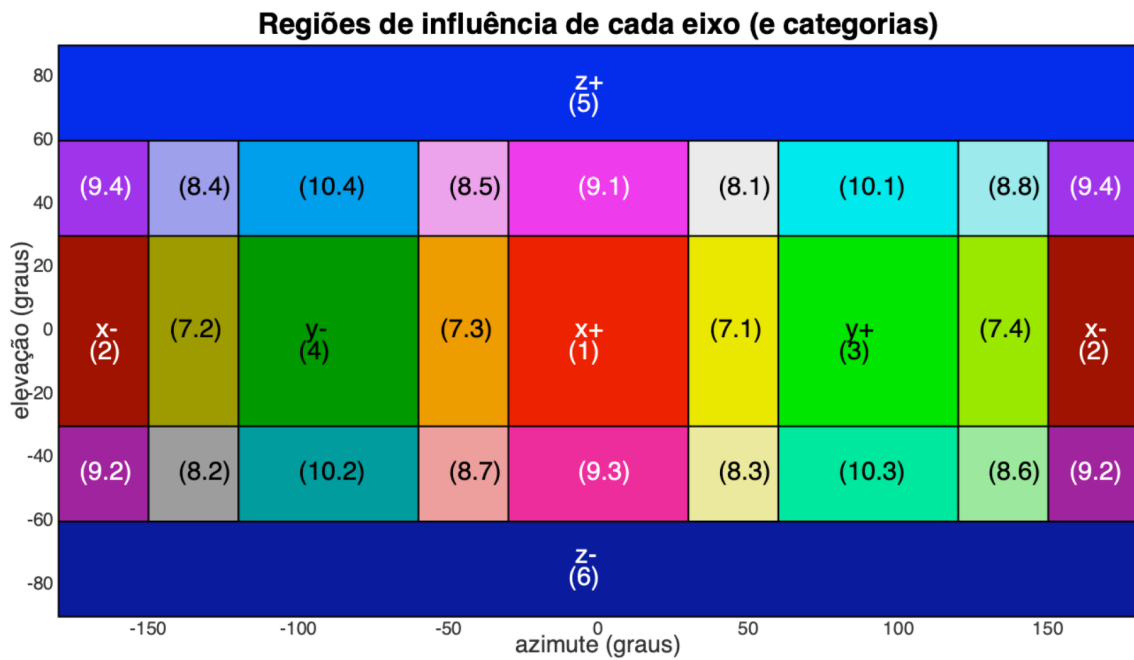
direção	$x^+$	$x^-$	$y^+$	$y^-$	$z^+$	$z^-$	$x/y$	$x/y/z$	$x/z$	$y/z$
categoria	1	2	3	4	5	6	7.1 7.2 7.3 7.4	. . . 8.8	9.1 9.2 9.3 9.4	10.1 10.2 10.3 10.4

Fonte: Autoria própria

**Figura 5 - Esfera com zonas positivas e negativas para os eixos principais ( $x$ ,  $y$  e  $z$ ), as regiões de influência de cada eixo e categorias**







Fonte: Autoria própria

### Intervalo de incerteza temporal

O sistema GuiaRT é utilizado como a referência temporal fundamental deste experimento, por lidar com dados de áudio em uma taxa de amostragem de 48 kHz. Nele, conseguimos detectar onsets com um erro máximo de 10 ms. O IMU opera a 100 Hz, e em média apresenta uma latência de 20 ms na cadeia de captação e transmissão dos dados. O FSR também atua nesta faixa de latência. Também utilizamos filtros de média móvel (com máximo de 5 pontos) em alguns processamentos de dados de sensores, o que altera levemente a posição de alguns picos. Frente a todas essas condições, consideramos que nossos resultados contém uma incerteza de cerca de 20 ms, que deve ser levado em conta em sua análise.

## Experimento

### Procedimentos

Para esse primeiro estudo piloto exploratório escolhemos doze situações distintas de aplicação da técnica, em três categorias: a quantidade de notas por corda (4 em uma escala cromática (cromatismo por corda), 3 na escala de Lá maior e 2 na escala pentatônica de Lá menor); o andamento, em 60 e 100 bpm; o sentido das escalas (descendente ou ascendente). As

partituras das escalas com as indicações de direção da palheta podem ser vistas na Figura 6. Um músico experiente na técnica realizou as gravações em três *takes* cada.

Figura 6 - Escalas utilizadas para estudo

### Cromática Descendente

□ V □ V Simile



### Cromática Ascendente

□ V □ V Simile



### Maior Descendente

□ V □ Simile



### Maior Ascendente

□ V □ Simile



### Pentatônica Descendente

□ V Simile



### Pentatônica Ascendente

□ V Simile

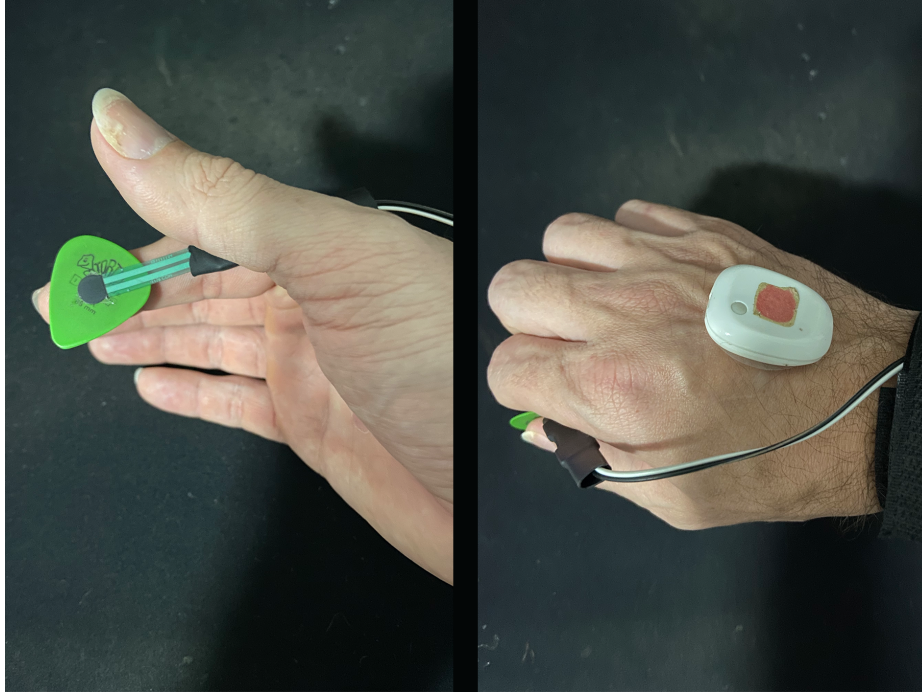


Fonte: Autoria própria

Um pedal marca o início dos registros, com um compasso vazio de metrônomo antes do começo dos trechos. Não foi feita nenhuma indicação ao performer questões sobre o modo

de aplicação da técnica, usando a palheta de sua preferência. A Figura 7 mostra o FSR na palheta e o IMU na mão do performer.

Figura 7 - FSR na palheta e IMU posicionado na mão do performer



Fonte: Autoria própria

Com cada escala tocada em 60 e 100 bpm em três *takes* cada, temos então 36 conjuntos de arquivos. A seguir mostraremos os tipos de dados para cada conjunto e o modo de visualização adotado.

### Dados coletados

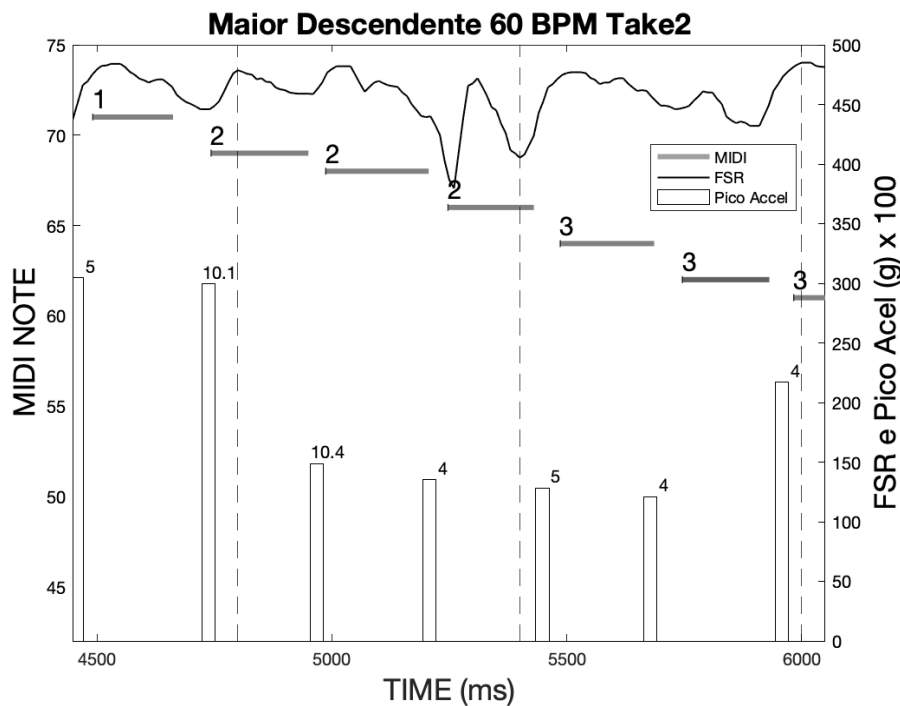
Cada trecho gravado para o presente estudo prospectivo conta com dados de diferentes modalidades, tanto por aquisição direta quanto por pós-processamento. Temos assim:

- (1) metadados da gravação: identificação (músico, excerto, versão), pulso, duração, etc.;
- (2) gravação de áudio em 6 canais (1 canal por corda);
- (3) dados das notas extraídas do trecho tocado: momento de ataque, corda, casa, amplitude, dentre outras;
- (4) curva do FSR;

- (5) curvas de aceleração linear e velocidade angular nos três eixos cartesianos, curvas dos ângulos de Euler (atitude espacial);
- (6) representação polar das curvas de aceleração linear e velocidade angular;
- (7) lista de picos extraídos das curvas de (6).

Cada uma das gravações é armazenada como uma estrutura de dados no Matlab, de modo a facilitar a visualização e comparação das diferentes variáveis em jogo no estudo. A Figura 8 mostra um exemplo de representação gráfica das informações na estrutura de dados utilizando a escala maior descendente a 60 bpm, no *take2*.

**Figura 8 - Exemplo de representação gráfica dos dados registrados da escala maior descendente em 60 bpm**



Fonte: Autoria própria

No gráfico de exemplo podemos ver: as notas em MIDI no modelo de *piano roll*<sup>7</sup> no eixo y esquerdo, com o número indicando a corda em uso, o momento de ataque (*onset*), a duração (tamanho da barra) e intensidade (faixa de -40 a 0 dBFS mapeado em 9 tons de cinza); a curva do FSR no eixo y direito; barras com os valores de pico da aceleração (g)<sup>8</sup> com a

<sup>7</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/Piano\\_roll](https://en.wikipedia.org/wiki/Piano_roll), acessado em 30/07/23

<sup>8</sup> Considerando a aceleração da gravidade  $g = 10 \text{ m/s}^2$

indicação de categoria (ver Tabela 1), multiplicados por 100 para melhor visualização com os valores de FSR, também no eixo y direito; tempo em ms no eixo x. As linhas verticais pontilhadas indicam o pulso (metrônomo). Desse modo podemos criar gráficos de diversos arranjos com os dados de cada escala.

## Análise e Discussão

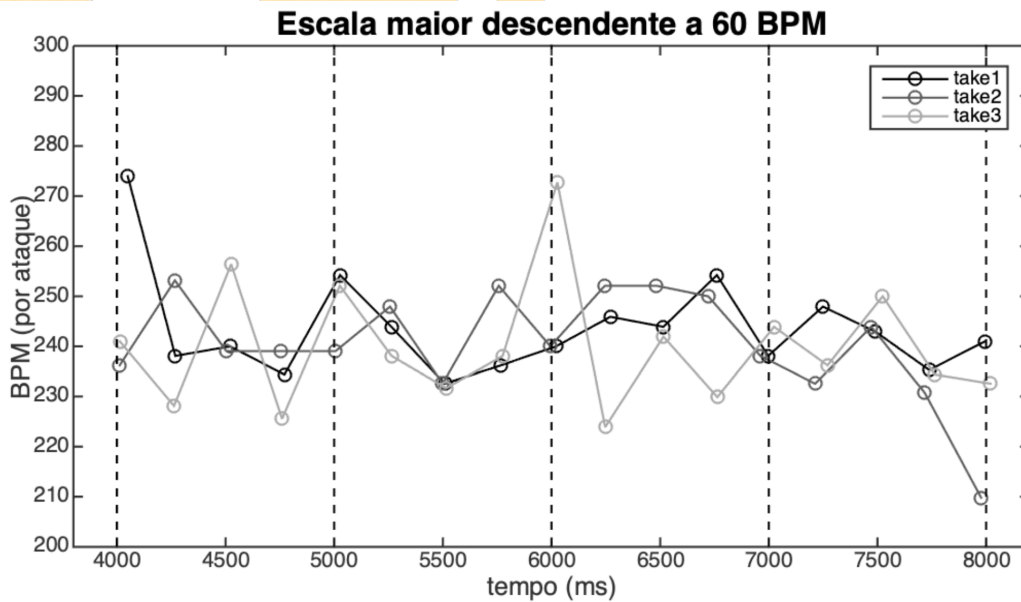
Diferentes aspectos relacionados à técnica da palhetada alternada podem ser analisados a partir dos dados coletados: regularidade rítmica, o posicionamento da mão direita ao descer e subir as cordas do violão, a relação das notas (ataques, amplitudes, corda, direção do movimento melódico) com (1) a força exercida na palheta, (2) a variação da velocidade angular e da aceleração linear, (3) a localização dos picos de aceleração e velocidade. Nesta prospecção buscamos primeiramente entender os fatores que se mantêm consistentes entre as três versões realizadas de cada situação de estudo, para posteriormente verificarmos sua reprodutibilidade com outros músicos.

### Regularidade rítmica

Embora nem sempre a regularidade rítmica esteja ligada ao conteúdo expressivo de uma performance, ela é certamente um bom indicativo técnico. Além das irregularidades ligadas a qualquer tipo de performance humana, no presente estudo encontramos fatores adicionais: o movimento de vai-e-vem da palheta e a mudança de cordas (incluindo direção melódica e direção da palhetada).

A Figura 9 mostra os *IOIs* (*Inter-Onset Intervals*) da escala maior descendente (três notas por corda) a 60 bpm nos três *takes*. De acordo com o andamento, cada *IOI* tem 240 bpm, correspondente ao intervalo temporal de ataque em cada par de semicolcheias. De modo geral o performer conseguiu uma boa aproximação destes valores (240 +/- 15 bpm), salvo início do *take1*, onde há um adiantamento do segundo *onset*, na metade do *take3*, com um adiantamento seguido de atraso para ajuste do tempo, e no final do *take2*, com um *rallentando*. Essas pequenas variações são esperadas, já que valores perfeitos desses intervalos só podem ser conseguidos eletronicamente e não de forma humana. A habilidade técnica estaria então ligada aos valores dessas variações: quanto menores, podemos considerar como uma técnica mais apurada.

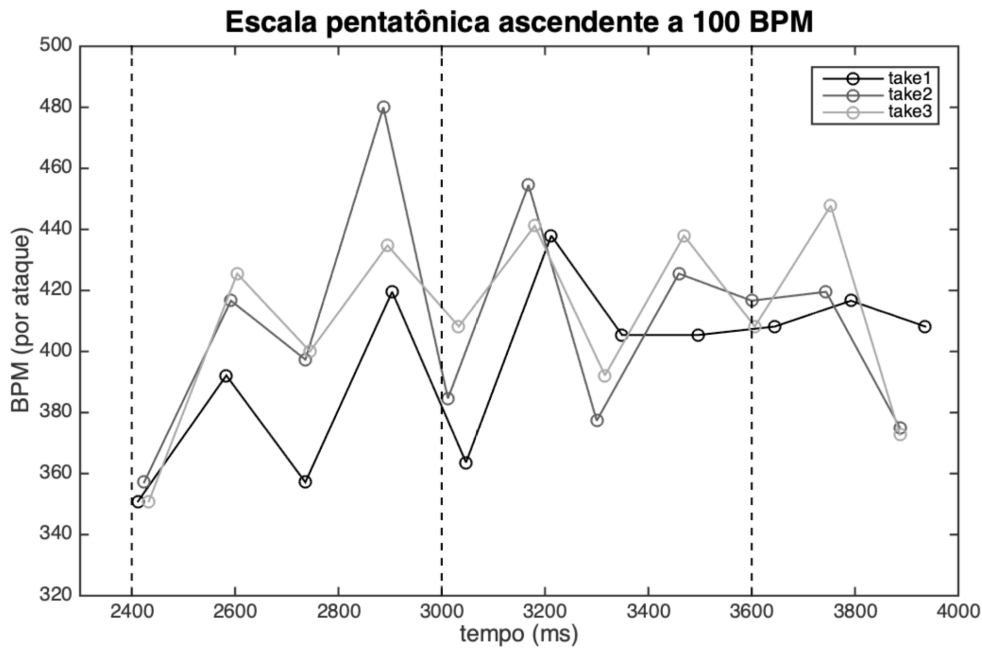
Figura 9 - *IOIs* (*Inter-onset Intervals*) em bpm da escala maior descendente a 60 bpm, nos três *takes*



Fonte: Autoria própria

Já na Figura 10 temos os *IOIs* da escala pentatônica (duas notas por corda) ascendente a 100 bpm. Nessa situação o valor ideal dos intervalos é de 400 bpm. Com a troca de corda acontecendo mais rápido, tanto pela quantidade de notas por corda quanto pelo andamento, percebemos uma variação maior dos valores de *IOI* comparado com a condição anterior. É possível identificar uma regularidade maior no final dos *takes* 1 e 2 (cordas agudas), onde o performer parece se alinhar melhor com o metrônomo, enquanto que no início percebemos um vai e vem maior nas cordas graves. Essa observação pode indicar uma tendência de facilidade do performer ao utilizar cordas agudas em comparação com as graves. A posição da mão nas cordas graves, inclinação da palheta e o giro do pulso podem ser fatores que justificam essa diferença.

Figura 10 - IOIs (Inter-onset Intervals) em bpm da escala pentatônica ascendente a 100 bpm, nos três takes

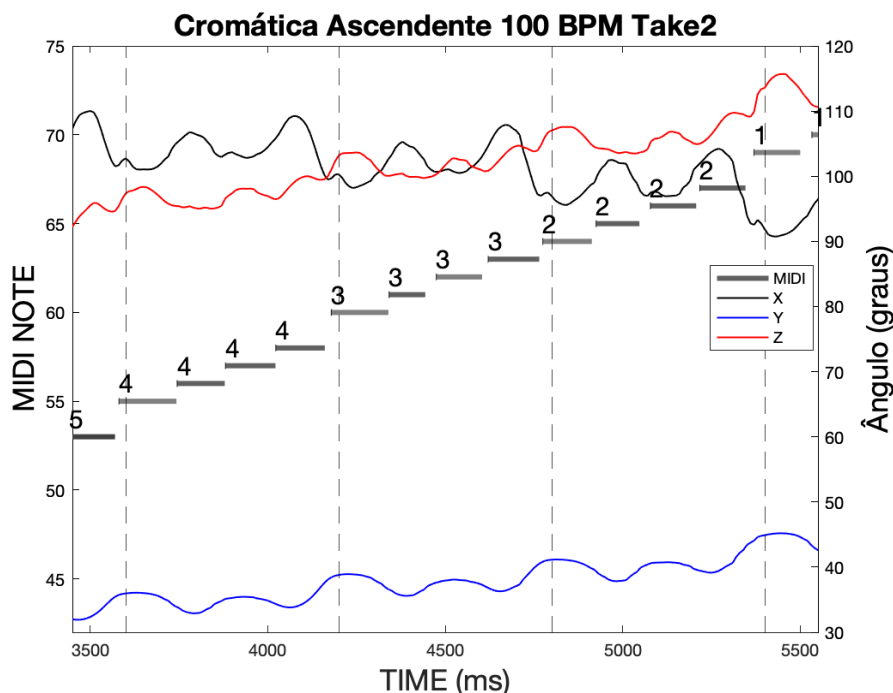


Fonte: Autoria própria

### Reposicionamento da mão

Ao se movimentar pelas cordas a mão muda de posição. Essa mudança pode se dar de várias formas, mantendo o ângulo da mão em relação às cordas, com um gesto acentuado para cima e para baixo e mais sutil de giro apoiado na junção do cotovelo, ou modificando o ângulo da mão, com giro na junção do cotovelo e menor movimentação vertical, etc. A Figura 11 mostra os ângulos de atitude espacial nos três eixos (x, y e z, ou *roll*, *pitch* e *yaw*).

Figura 11 - Ângulos nos três eixos (x, y e z) da escala cromática ascendente a 100 bpm, *take2*



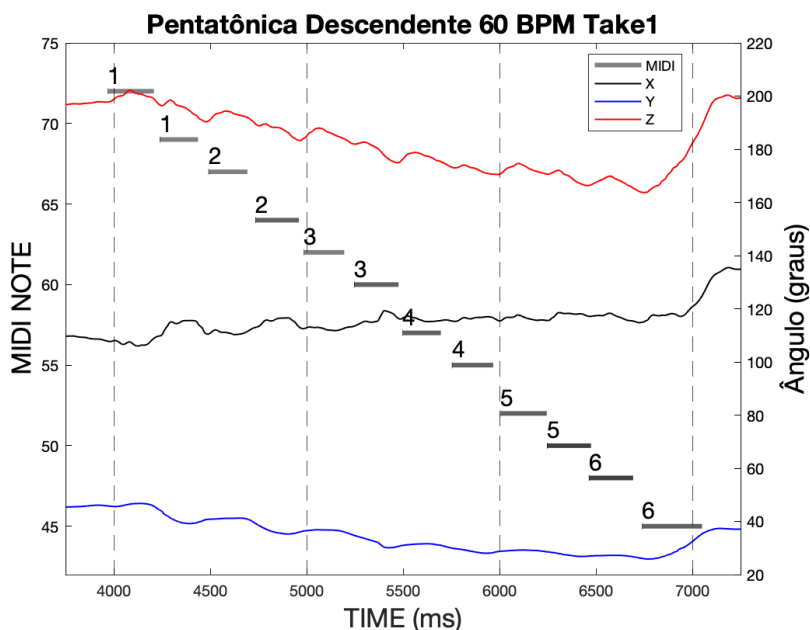
Fonte: Autoria própria

O trecho selecionado da escala cromática ascendente, 100 bpm *take2*, está com foco na mudança das cordas graves para as agudas (corda 4 para corda 3). Percebemos que as curvas dos eixos x e z são espelhadas, com tendências inversas ao percorrer as cordas. Esse fato pode indicar uma preferência do performer em utilizar o giro do eixo do cotovelo em detrimento ao movimento vertical do conjunto antebraço e mão. A medida que vai descendo as cordas, vai ajustando a mão nos eixos x e z, aparentemente para manter o ângulo da palheta em relação às cordas. Pode-se ainda observar as rotações de mão utilizadas em cada ataque<sup>9</sup>. Uma análise com registro visual da performance pode colaborar para essa hipótese. Já o eixo y vai subindo de valor de acordo com a descida da mão pelas cordas. Analisaremos agora a escala pentatônica descendente a 60 bpm, que se opõe ao primeiro trecho em relação à quantidade de notas, andamento e direção da mão. A Figura 12 mostra o *take2* da escala mencionada.

<sup>9</sup> A variação momento a momento destas curvas é dada pela velocidade angular, que será discutida mais abaixo.



Figura 12 - Escala pentatônica descendente, *take 1* a 60 bpm



Fonte: Autoria própria

Por estar em sentido oposto à escala anterior, os ângulos apresentam comportamento esperado: os valores de y decrescem e os valores de x e z continuam com tendência inversa, mas com z decrescendo e x crescendo. Percebemos faixa de variação menor comparadas ao gráfico anterior, indicando menor uso de giro da mão, fato que pode estar ligado ao andamento mais lento. Praticamente não se observa mudança no ângulo de x nas cordas graves, indicando estratégias gestuais diferentes para as notas graves e agudas.

### Força na palheta

Examinaremos agora a força aplicada na palheta observando a escala cromática (quatro notas por corda). Com os *takes* parecidos, utilizaremos no sentido ascendente o *take2* e o *take3* no descendente, com as demais gravações sendo consistentes com as apresentadas.

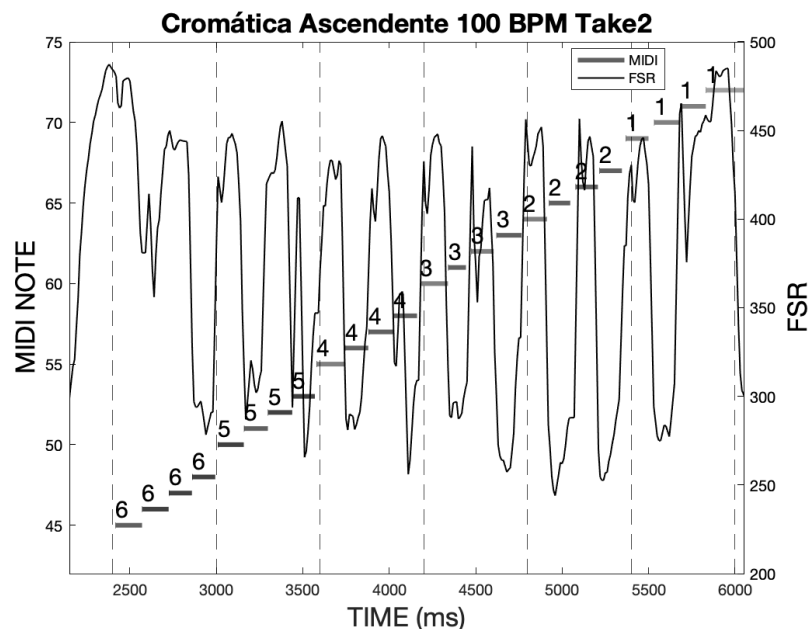
De maneira genérica identificamos um vai e vem bem regular, com o pico próximo aos ataques da palheta para baixo e vale próximo aos ataques para cima, o que nos gerou um certo estranhamento. Teoricamente uma força parecida para a palhetada nos dois sentidos é utilizada, visto que as amplitudes dos ataques (representada pelos tons de cinza das notas MIDI)

são similares. O vai e vem portanto pode ser justificado pelo uso do FSR apenas entre o polegar e a palheta, desconsiderando a força aplicada entre o dedo indicador e a palheta.

Nos ataques de palheta descendentes, na posição mais comum de performance (músico perpendicular à força da gravidade), o polegar realiza a força necessária para movimentar a corda enquanto o indicador apoia a palheta, situação que se inverte no sentido oposto. É sensato pensar que os dois dedos realizam alguma força independente do sentido, porém nesta configuração conseguimos mensurar apenas a força entre o polegar e a palheta.

O *take2* da escala cromática ascendente a 100 bpm pode ser visto na Figura 13.

Figura 13 - *Take2* da escala cromática ascendente a 100 bpm



Fonte: Autoria própria

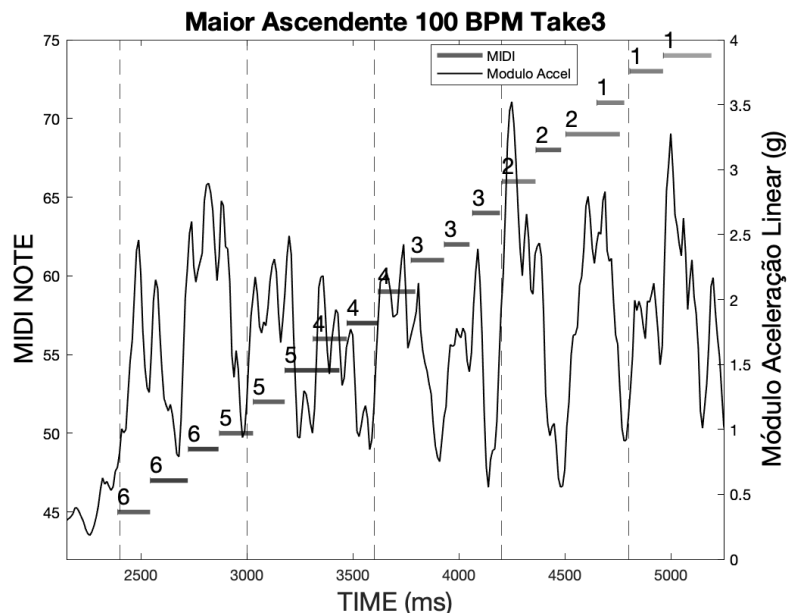
Podemos observar que a variação de força na palheta se mantém regular na maioria do tempo, com exceção dos valores de pico e vale no início e final do trecho, apresentando valores maiores que no restante da escala. As amplitudes variam pouco, o que condiz com a força regular no trecho, porém a última nota foge desse padrão: possui maior força na palheta com amplitude menor. Desse modo, não é possível fazer uma relação direta entre força na palheta e amplitude da nota.

## Velocidade angular e aceleração linear

Esses dados se referem a movimentos de rotação e translação da mão direita (representada por seu dorso) que indicam a presença de forças dinâmicas em ação (em repouso as curvas não variam, ficando com valor próximo a zero). Essas forças se referem tanto a intenções performáticas do músico (preparação e execução dos ataques) quanto a reações impostas pela corda durante o contato e posterior separação da palheta. Essa complexidade torna a tarefa de interpretação desses dados bastante difícil. Apesar disso, pudemos observar alguma consistência em certas situações de estudo.

A Figura 14 traz o módulo da aceleração linear da escala maior ascendente a 100 bpm, *take3*, calculado no Matlab utilizando a aceleração linear nos três eixos (x, y e z). Apesar de algumas oscilações, o módulo apresenta picos relacionados com a palhetada nos dois sentidos, independente da corda utilizada, com um pico mais acentuado na primeira nota da corda 2 e na última nota. As oscilações curtas após o *onset* (pico entre os picos relacionados aos ataques) podem corresponder ao rebote da palheta após o contato com a corda, com valores altos na palhetada para baixo e valores baixos na palhetada para cima, podendo ser um bom indicativo para caracterização de sentido da palheta.

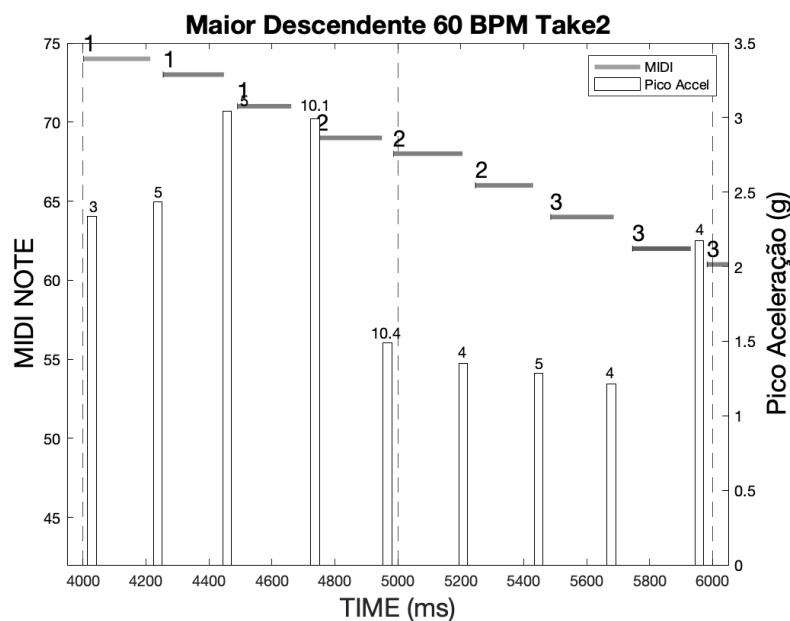
Figura 14 - Módulo da aceleração linear no *take3* da escala maior ascendente



Fonte: Autoria própria

Podemos representar as curvas de módulo de aceleração linear e módulo de velocidade angular através da extração dos seus picos. Conseguimos, além de identificar os picos, caracterizar a direção dos gestos (ver Tabela 1). A Figura 15 nos mostra os ataques nas cordas agudas da escala maior descendente a 60 bpm do take 2, juntamente com os picos de aceleração linear. Como observado na figura anterior, os picos estão alinhados com os ataques, nos dois sentidos, com a maioria classificados na direção y- (4) e z+ (5), e suas combinações (10.1 e 10.4). Neste caso foi usado um intervalo de espera de 100 ms, de modo a evitar os rebotes.

**Figura 15 - Ataques nas cordas agudas da escala maior descendente a 60 bpm, take2**

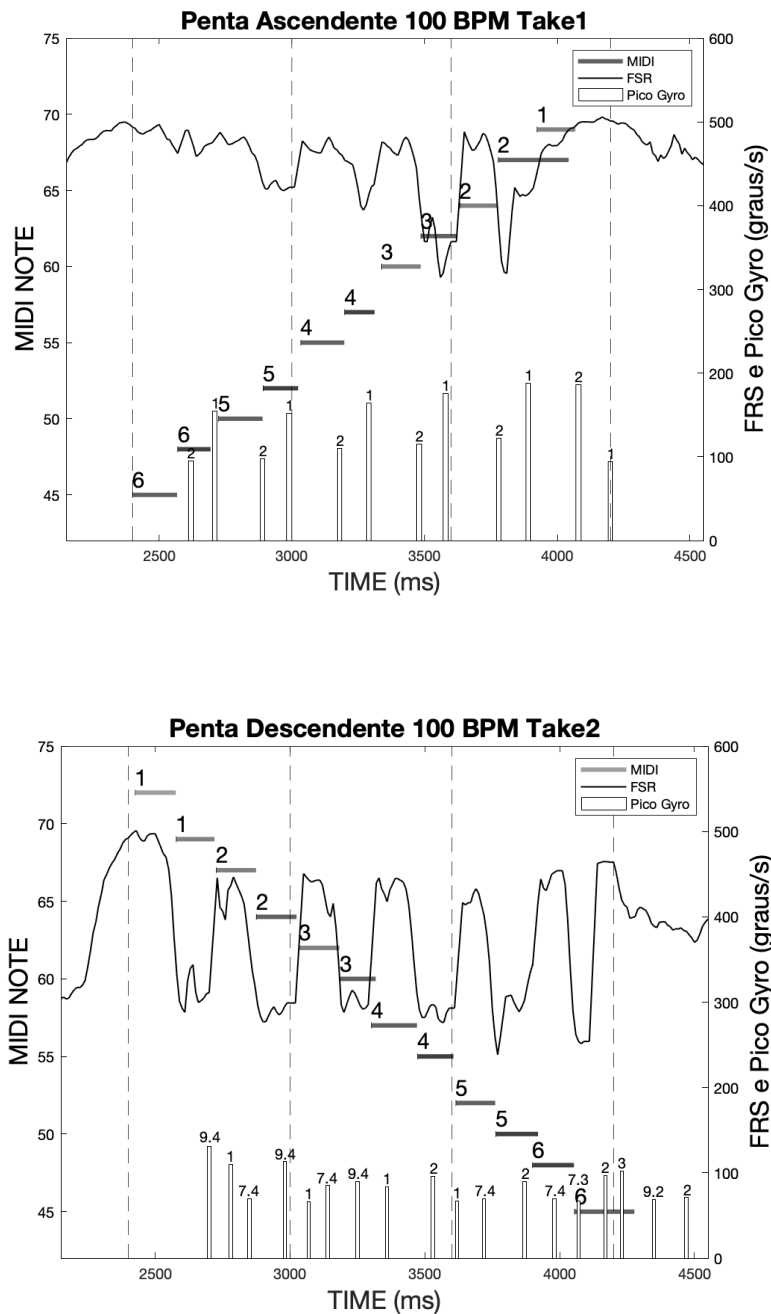


Fonte: Autoria própria

### Interações entre os fatores

Para a análise de interação entre os fatores estudados, iremos utilizar a escala pentatônica ascendente (*take1*) e descendente (*take2*) tocadas em 100 bpm, com os dados do sensor de força e os picos de gyro. A Figura 16 apresenta as duas situações.

Figura 16 - Escala pentatônica ascendente, *take1*, e descendente, *take2*, tocadas a 100 bpm



Fonte: Autoria própria

Na ascendente temos uma regularidade consistente dos picos de gyro, com direções 2 e 1 (x- e x+), e pouca regularidade na força da palheta. De modo contrário, na descendente observamos regularidade nos dados do FSR e pouca regularidade dos picos, tanto em relação a posição temporal quanto às direções categorizadas. Essas duas observações podem permitir a

identificação de direção melódica em uma escala, pelo menos no caso desse performer. Já a intensidade das notas pouco colaboram nesse sentido: pouco se diferenciam entre as escalas, salvo em momentos pontuais, sem padrão.

## Considerações finais

Com esse estudo prospectivo inicial, esperamos ter demonstrado que a abordagem multimodal da técnica de palhetada alternada, combinando dados do sinal de áudio, gestos e força, pode contribuir para um entendimento mais completo de como a técnica é aplicada. Para além das questões de uso e ensino, percebemos também o potencial de caracterização e identificação das performances, permitindo a possibilidade de reconhecimento de músicos pela combinação dos dados extraídos dos trechos.

Conseguimos identificar diferenças entre *takes* de uma mesma escala com andamento diferente. Apesar de utilizar somente duas velocidades (60 e 100 bpm) podemos levantar questões sobre o aperfeiçoamento da técnica. Não nos parece muito coerente treinar em velocidades menores, com certos gestos, e modificá-los ao aumentar a velocidade. De modo lógico, é justo pensar em treinar lento com os mesmos gestos que serão usados quando se tocar rápido. O feedback visual, permitido nesse *setup*, pode colaborar nesse ponto. Uma amostra maior de músicos, andamentos e escalas podem esclarecer melhor essas questões.

Com essa amostragem maior pretendemos analisar trechos mais complexos que utilizam, além da palhetada alternada, as técnicas de *sweep picking* e *strumming*, também muito utilizadas por guitarristas/violonistas populares ou eruditos. Frente aos problemas identificados com o uso do sensor de força em um lado da palheta, iremos acrescentar um segundo sensor ao outro lado, tornando essa abordagem mais completa e confiável.

Agradecemos à CAPES, FAPEMIG e CNPQ, que dão apoio financeiro ao desenvolvimento dessa pesquisa.

## Referências

ARMONDES, Augusto; CAMPOS, Caio; MARTINS, Eduardo; ALVES, Marcos; FREIRE, Sérgio. Programação de um sensor inercial com 6 graus de liberdade e seu uso na exploração gestual da performance musical. In: XXXII CONGRESSO DA ANPPOM, 2022, Natal/RN. *Anais do XXXII Congresso da Anppom*.

CARLEVARO, Abel. *Escuela de la Guitarra*, Buenos Aires: Barry Editorial, 1979.

FREIRE, Sérgio; ARMONDES, Augusto; SILVA, Rubens. Real-Time Symbolic Transcription and Interactive Transformation Using a Hexaphonic Nylon-String Guitar. *Computer Music Journal*, v. 45, n. 4, p. 20-39, 2021.

FREIRE, Sérgio; SANTOS, Geise; ARMONDES, Augusto; MENESES, Eduardo; WANDERLEY, Marcelo. Evaluation of inertial sensor data by a comparison with motion capture data of guitar strumming gestures. *Sensors*, v. 20, n. 19, p. 5722, 2020.

GOODRICK, Mick. *The advancing guitarist: Applying guitar concepts & techniques*, Hal Leonard Corporation, 1987.

HOUAISS, Antônio; VILLAR, Mauro de Salles. Técnica. *Dicionário Houaiss da língua portuguesa*. Rio de Janeiro: Objetiva, 2009. *Sensors*, v. 20, n. 19, p. 5722, 2020.

PUJOL, Emilio. *Escuela razonada de la guitarra*, Ricordi Americana, 1952.

QUEIROZ, Luis Ricardo Silva. A formação do violonista: aspectos técnicos, interpretativos e pedagógicos. In: CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EDUCAÇÃO MUSICAL, XIX, 2010, Goiânia/GO. 197–209. Disponível em [http://abemeducacaomusical.com.br/sistemas/anais/congressos/Anais\\_abemcongresso\\_2010\\_parte1.pdf](http://abemeducacaomusical.com.br/sistemas/anais/congressos/Anais_abemcongresso_2010_parte1.pdf) Acesso em 30/07/23

RIBEIRO, Hugo Leonardo. *O estudo da técnica da guitarra elétrica*, Apostila de Estudos, 2011. Disponível em <http://hugoribeiro.com.br> Acesso em 30/07/23